

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-093776

(43)Date of publication of application : 29.03.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

(21)Application number : 2000-280376

(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD  
TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 14.09.2000

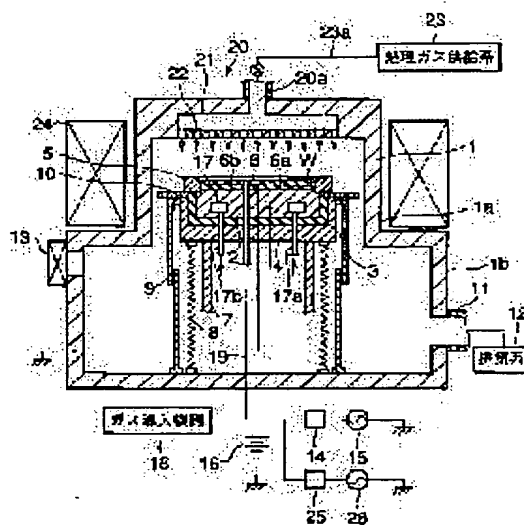
(72)Inventor : MIMURA TAKANORI  
NAGASEKI KAZUYA  
SAKAI ITSUKO  
OIWA NORIHISA

## (54) HIGH SPEED ETCHING METHOD OF Si

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high speed etching method of Si realizing a higher etching rate as compared with the prior art.

SOLUTION: A workpiece W to be treated having an Si part is placed in a treatment container 1 which can be held in vacuum and when Si of the article is subjected to high speed etching in plasma of etching gas generated in the treatment container 1, gas pressure in the treatment container is set in the range of 13 to 1333 Pa (100 mTorr to 10 Torr) at the time of generating plasma.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-93776

(P2002-93776A)

(43) 公開日 平成14年3月29日 (2002.3.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 21/3065

識別記号

F I

H 0 1 L 21/302

テーマコード(参考)

C 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数29 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-280376(P2000-280376)

(22) 出願日 平成12年9月14日 (2000.9.14)

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 三村 高範

山梨県韭崎市藤井町北下条2381番地の1

東京エレクトロン山梨株式会社内

(74) 代理人 100099944

弁理士 高山 宏志

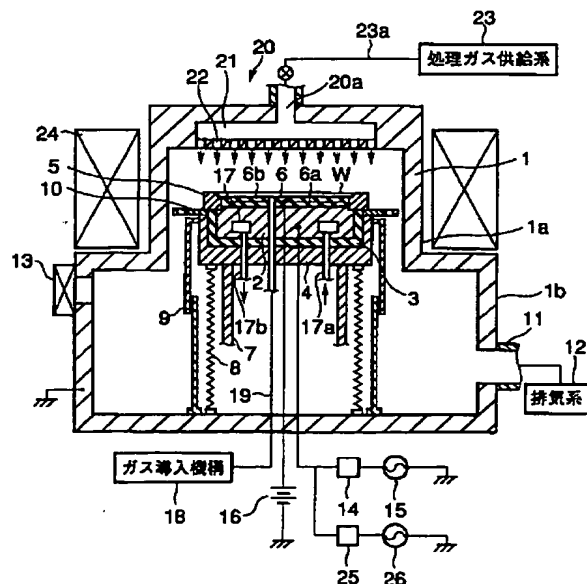
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 S i 高速エッチング方法

(57) 【要約】

【課題】 従来よりも高いエッチングレートを実現することができるS i 高速エッチング方法を提供すること。

【解決手段】 真空中に保持可能な処理容器1内にS i 部分を有する被処理体Wを設置するとともに、処理容器1内にエッチングガスのプラズマを生成し、その中で被処理体のS i を高速エッチングするにあたり、プラズマを生成する際の処理容器内のガス圧力を13~1333Pa (100mTorr~10Torr) とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空中に保持可能な処理容器内にSi部分を有する被処理体を設置するとともに、前記処理容器内にエッチングガスのプラズマを生成し、その中で被処理体のSiを高速エッチングするSi高速エッチング方法であって、

プラズマを生成する際の前記処理容器内のガス圧力を13～1333Pa(100mTorr～10Torr)とすることを特徴とするSi高速エッチング方法。

【請求項2】 前記処理容器内のガス圧力を26～133Pa(200mTorr～1Torr)とすることを特徴とする請求項1に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項3】 前記処理容器内のプラズマ生成領域と被処理体のエッチング面との距離が20mm以下であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項4】 前記エッチングガスは、フッ素含有ガスを含むことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項5】 前記フッ素含有ガスは、その分子を $A_xF_y$ （ただし、Aは任意の元素、xおよびyは価数）と表した場合に、yが4以上であることを特徴とする請求項4に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項6】 前記フッ素含有ガスのyが6以上であることを特徴とする請求項5に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項7】 前記エッチングガスはさらに酸素を含むことを特徴とする請求項4から請求項6のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項8】 前記エッチングガスは $SF_6$ と $O_2$ とを含み、 $O_2/SF_6$ が0.1～0.5であることを特徴とする請求項7に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項9】 前記エッチングガスは $SF_6$ と $C_4F_8$ とを含み $C_4F_8/SF_6$ が0.3～0.6であることを特徴とする請求項4から請求項6のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項10】 プラズマを生成する機構は、相対向する一対の電極間に高周波電界を形成してプラズマを生成する容量結合型のものであることを特徴とする請求項1から請求項9のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項11】 前記プラズマを生成する機構は、被処理体が載置される電極にプラズマ生成用の高周波が印加されるRIEタイプであることを特徴とする請求項10に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項12】 電極間に電界と直交する磁場を形成しながらエッチングを行うことを特徴とする請求項11に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項13】 被処理体が配置され真空中に保持可能な処理容器と、処理容器内に相対向して設けられ、その一

方に被処理体が載置される一対の電極と、被処理体が載置される電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加して前記一対の電極間に高周波電界を形成する高周波電源と、前記処理容器内にエッチングガスを導入するエッチングガス導入機構と、前記一対の電極間の処理空間に、電界方向と直交しかつ一方方向に向かう磁場を形成する磁場形成手段とを有するマグネトロンエッチング装置を用い、前記処理容器内に直交電磁界によりエッチングガスのプラズマを生成し、その中でSi部分を有する被処理体のSiを高速エッチングする際に、前記処理容器内のガス圧力を13～1333Pa(100mTorr～10Torr)としてエッチングを行うことを特徴とするSi高速エッチング方法。

【請求項14】 前記処理容器内のガス圧力を26～133Pa(200mTorr～1Torr)としてエッチングを行うことを特徴とする請求項13に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項15】 前記磁場形成手段は、複数の異方性セグメント磁石を前記処理容器の周囲にリング状に配置し、前記各異方性セグメント磁石の磁化の方向が、電極間に一様な方向磁場が形成されるように設定されたダイポールリング磁石を有することを特徴とする請求項13または請求項14に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項16】 前記エッチングガスは、フッ素含有ガスを含むことを特徴とする請求項13から請求項15のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項17】 前記フッ素含有ガスは、その分子を $A_xF_y$ （ただし、Aは任意の元素、xおよびyは価数）と表した場合に、yが4以上であることを特徴とする請求項16に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項18】 前記フッ素含有ガスのyが6以上であることを特徴とする請求項17に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項19】 前記エッチングガスはさらに酸素を含むことを特徴とする請求項16から請求項18のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項20】 前記エッチングガスは $SF_6$ と $O_2$ とを含み、 $O_2/SF_6$ が0.1～0.5であることを特徴とする請求項19に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項21】 前記エッチングガスは $SF_6$ と $C_4F_8$ とを含み $C_4F_8/SF_6$ が0.3～0.6であることを特徴とする請求項16から請求項18のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項22】 前記高周波電源は、27MHz以上の高周波電力を印加することを特徴とする請求項13から請求項21のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項23】 前記高周波電源は、40～200MHzの高周波電力を印加することを特徴とする請求項22に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項24】 前記磁場形成手段は、被処理体の存在領域に $10000\mu\text{T}$  ( $100\text{G}$ ) 以上の磁場を形成することを特徴とする請求項13から請求項23のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項25】 前記高周波電源とは異なる他の高周波電源から、周波数が前記プラズマ形成用の高周波電力の周波数よりも小さく $2\text{MHz}$ 以上の高周波電力を前記プラズマ形成用の高周波電力に重畳させることを特徴とする請求項13から請求項24のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項26】 エッチングを行う被処理体のエッチング開口率は被処理体表面の $10\%$ 以下であることを特徴とする請求項1から請求項25のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項27】 前記Si部分を有する被処理体が単結晶Si基板であることを特徴とする請求項1から請求項26のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項28】 前記Si高速エッチング方法により単結晶Si基板をエッチングする工程後、該Si基板の反対側の表面の全面研削または全面エッチングを行い、前記Si高速エッチング方法によりSi基板に形成した穴または溝が前記Si基板を貫通するようにしたことを特徴とする請求項27に記載のSi高速エッチング方法。

【請求項29】 エッチングを行う被処理体のエッチング開口部の寸法が $10\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1から請求項28のいずれか1項に記載のSi高速エッチング方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、単結晶Si基板のようなSi部分を有する被処理体のSiを高速でエッチングするSi高速エッチング方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近時、デバイス構造を三次元的にした三次元実装デバイスが開発されている。この三次元実装デバイスは、例えば、ロジックを形成した単結晶Si基板やメモリを形成した単結晶Si基板等を複数重ね、これら基板を配線で接続する構成を有しており、これにより、よりスペース効率の高いデバイスを実現するものである。

【0003】 このような三次元実装デバイスは、 $100\mu\text{m}$ 程度の厚さを有するSi基板に $\phi 10\sim 70\mu\text{m}$ 程度の配線用の孔を形成する必要があることから、極めて高速のエッチングが求められる。

【0004】 また、Siの高速エッチングは、このような三次元実装デバイスだけでなく、様々なマイクロマシニングにおけるサブミクロンオーダーの加工にも応用可能であり、加工形状も孔だけではなく溝やライン形状等も可能である。

【0005】 このような高速エッチングの用途には、従

来より、高プラズマ密度を実現することができる誘導結合型のプラズマエッチング装置が用いられている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の誘導結合型のプラズマエッチング装置を用いた高速エッチングでも、エッチングレートは高々 $10\mu\text{m}/\text{min}$ 程度であり、必ずしも十分なエッチングレートではない。

【0007】 本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、従来よりも高いエッチングレートを実現することができるSi高速エッチング方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】 従来は、高速のSiエッチングのためには、高プラズマ密度が必要であるとして、誘導結合型のプラズマエッチング処理装置を用いて高プラズマ密度下でSiエッチングを行っていたが、本発明者らの検討結果によれば、後述する図4に示すように、Siのエッチング速度の高速化のためには、プラズマ密度を上昇させるより、むしろ処理容器内のガス圧力を上昇させることが有効であることが見出された。

【0009】 従来は、Siの高速エッチングのために、高プラズマ密度化、つまり高電離レート化して単位体積当たりのイオン個数を増加させることを意図していたが、本発明者らの検討結果によれば、Siのエッチングには中性粒子であるラジカルが大きく寄与していることが判明した。したがって、Siの高速エッチングのためには、イオン等の荷電粒子の個数とラジカルの個数との和が大きいたことが要求され、そのためには処理容器内のガス圧力を高くする必要がある。

【0010】 本発明はこのような知見に基づいてなされたものであり、真空中に保持可能な処理容器内にSi部分を有する被処理体を設置するとともに、前記処理容器内にエッチングガスのプラズマを生成し、その中で被処理体のSiを高速エッチングするSi高速エッチング方法であって、プラズマを生成する際の前記処理容器内のガス圧力を $13\sim 1333\text{Pa}$  ( $100\text{mTorr}\sim 10\text{Torr}$ ) とすることを特徴とするSi高速エッチング方法を提供するものである。

【0011】 このように処理容器内のガス圧力を高く設定することにより、十分な量のラジカルを生成させることができ、 $20\mu\text{m}/\text{min}$ 以上、他の条件を最適化することにより $50\mu\text{m}/\text{min}$ 以上の従来にない高速のSiエッチングを実現することができる。この際に、処理容器内のガス圧力を $26\sim 1333\text{Pa}$  ( $200\text{mTorr}\sim 1\text{Torr}$ ) とすることが好ましい。

【0012】 また、ラジカルを用いてエッチング反応を生じさせる際に、被処理体上のエッチング反応に寄与するラジカル数 $n_G$ は、 $n_0$ を母ガス密度(圧力に比例)、 $G_G$ をラジカルの生成レート、 $L_G$ をエッチング

反応以外で消滅するラジカルの消滅レートとすると、 $n_G = n_0 G_G - L_G$ と表すことができるから、被処理体上のエッチング反応に寄与するラジカル数 $n_G$ を多くするためには、 $n_0 G_G$ を高くすること、つまり上述のように処理容器内のガス圧力を高くすることの他、 $L_G$ を低くすることが有効であるが、 $L_G$ を低くするためには反応までの時間を極力短くする必要があり、そのためには処理容器内のプラズマ生成領域と被処理体のエッチング面との距離が20mm以下であることが好ましい。

【0013】さらに、エッチングガスとしては、反応性の高いフッ素含有ガスを含むものを用いることが好ましく、フッ素含有ガスとしては、その分子を $A_x F_y$ （ただし、Aは任意の元素、xおよびyは価数）と表した場合に、yが4以上、さらにはyが6以上が反応性が高く好ましい。yが6以上のガスとしては、 $C_3 F_8$ 、 $SF_6$ 、 $S_2 F_{10}$ を挙げることができ、yが4以上のガスとしては、 $CF_4$ を挙げることができる。また、フッ素含有ガスとともに酸素ガスを用いることによりエッチングの異方性を高めることができ、エッチングの形状性を良好にすることができる。エッチングガスの具体的な組み合わせとして、 $SF_6$ と $O_2$ とを含み、 $O_2/SF_6$ が0.1～0.5のものを好適に用いることができる

（後述する図6参照）。また、 $SF_6$ と $C_4 F_8$ とを含み $C_4 F_8/SF_6$ が0.3～0.6であるものも好適に用いることができる（後述する図7参照）。

【0014】本発明のSi高速エッチングを実現するためには、上記構成を満たしていれば、プラズマを生成する機構の種類は問わないが、処理容器内の圧力を上記高い範囲にして被処理体に有効にプラズマ作用を及ぼす観点からは、相対向する一対の電極間に高周波電界を形成してプラズマを生成する容量結合型のものであることが好ましい。また、その中でも、被処理体が載置される電極にプラズマ生成用の高周波が印加されるRIEタイプのものが好ましい。RIEタイプのプラズマ生成機構は、プラズマ生成領域と被処理体との間の距離を容易に20mm以下と近くすることができ、しかもプラズマを被処理体の直上で形成することができる。この場合に、電極間に電界と直交する磁場を形成しながらエッチングを行うことにより、被処理体直上に $E \times B$ ドリフトが生じ、被処理体の直上で高プラズマ密度が実現されるため特に好ましい。

【0015】また、本発明は、被処理体が配置され真空に保持可能な処理容器と、処理容器内に相対向して設けられ、その一方に被処理体が載置される一対の電極と、被処理体が載置される電極にプラズマ生成用の高周波電力を印加して前記一対の電極間に高周波電界を形成する高周波電源と、前記処理容器内にエッチングガスを導入するエッチングガス導入機構と、前記一対の電極間の処理空間に、電界方向と直交しかつ一方方向に向かう磁場を形成する磁場形成手段とを有するマグネトロンエッチ

ング装置を用い、前記処理容器内に直交電磁界によりエッチングガスのプラズマを生成し、その中でSi部分を有する被処理体のSiを高速エッチングする際に、前記処理容器内のガス圧力を13～1333Pa（100mTorr～10Torr）としてエッチングを行うことを特徴とするSi高速エッチング方法を提供する。

【0016】このようなRIEタイプのマグネトロンプラズマエッチング装置を用いて、処理容器内のガス圧力を高くすることにより、上述したように、被処理体直上においてラジカル密度を高くすることができ、しかも、電極間に電界と直交する磁場を形成しながらエッチングを行うことにより、被処理体直上に $E \times B$ ドリフトが生じて被処理体の直上で高プラズマ密度を得ることができ、極めて高速のSiエッチングが実現される。

【0017】この場合に、前記磁場形成手段は、複数の異方性セグメント磁石を前記処理容器の周囲にリング状に配置し、前記各異方性セグメント磁石の磁化の方向が、電極間に一様な方向磁場が形成されるように設定されたダイポールリング磁石を有することが好ましい。また、前記高周波電源は、被処理体直上のプラズマ密度を高くする観点から、27MHz以上の高周波電力を印加することが好ましく（後述する図8参照）、特に、40～200MHzの高周波電力を印加することが好ましい。同様の観点から、磁場形成手段が被処理体の存在領域に10000μT（100G）以上の磁場を形成することが好ましい。さらに、イオンエネルギーをコントロールする観点から、前記高周波電源とは異なる他の高周波電源から、周波数が前記プラズマ形成用の高周波電力の周波数よりも小さく、2MHz以上の高周波電力を前記プラズマ形成用の高周波電力に重畳させることが好ましい。

【0018】前記Si部分を有する被処理体としては、典型的には単結晶Si基板を挙げることができる。このような単結晶Si基板に対し、上記Si高速エッチング方法で加工後、該Si基板の反対側の表面の全面研削または全面エッチングを行い、前記Si高速エッチング方法によりSi基板に形成した穴または溝が前記Si基板を貫通するようにして加工することができる。

【0019】また、上記Si高速エッチング方法において、エッチングを行う被処理体のエッチング開口部の寸法が10μm以上であることが好ましい。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。ここでは、マグネトロンRIEプラズマエッチング装置を用いて本発明の方法を実施する例について説明する。図1は、本発明に係る方法を実施するためのマグネトロンRIEプラズマエッチング装置を示す断面図である。このエッチング装置は、気密に構成され、小径の上部1aと大径の下部1bとからなる段つき円筒状をなし、壁部が例えばアルミニ

ウム製のチャンバー（処理容器）1を有している。

【0021】このチャンバー1内には、被処理体として単結晶Si基板であるSiウエハWを水平に支持する支持テーブル2が設けられている。支持テーブル2は例えばアルミニウムで構成されており、絶縁板3を介して導体の支持台4に支持されている。また、支持テーブル2の上方の外周にはSi以外の材料、例えば石英で形成されたフォーカスリング5が設けられている。上記支持テーブル2と支持台4は、ボールねじ7を含むボールねじ機構により昇降可能となっており、支持台4の下方の駆動部分は、ステンレス鋼（SUS）製のベローズ8で覆われている。ベローズ8の外側にはベローズカバー9が設けられている。なお、上記フォーカスリング5の外側にはバッフル板10が設けられており、このバッフル板10、支持台4、ベローズ8を通してチャンバー1と導通している。チャンバー1は接地されている。

【0022】チャンバー1の下部1bの側壁には、排気ポート11が形成されており、この排気ポート11には排気系12が接続されている。そして排気系12の真空ポンプを作動させることによりチャンバー1内を所定の真空度まで減圧することができるようになっている。一方、チャンバー1の下部1bの側壁上側には、SiウエハWの搬入出口を開閉するゲートバルブ13が設けられている。

【0023】支持テーブル2には、整合器14を介してプラズマ形成用の第1の高周波電源15が接続されており、この第1の高周波電源15から所定の周波数の高周波電力が支持テーブル2に供給されるようになっている。一方、支持テーブル2に対向してその上方には後で詳細に説明するシャワーヘッド20が互いに平行に設けられており、このシャワーヘッド20は接地されている。したがって、支持テーブル2およびシャワーヘッド20は一对の電極として機能する。

【0024】第1の高周波電源15の給電線には、整合器25を介して第2の高周波電源26が接続されている。第2の高周波電源26は第1の高周波電源15の周波数よりも低い高周波電力を供給しプラズマ形成用の高周波電力に重畳されるようになっている。

【0025】支持テーブル2の表面上にはSiウエハWを静電吸着して保持するための静電チャック6が設けられている。この静電チャック6は絶縁体6bの間に電極6aが介在されて構成されており、電極6aには直流電源16が接続されている。そして電極6aに電源16から電圧が印加されることにより、静電力例えばクーロン力によってSiウエハWが吸着される。

【0026】支持テーブル2の内部には、冷媒室17が設けられており、この冷媒室17には、冷媒が冷媒導管17aを介して導入され冷媒排出管17bから排出されて循環し、その冷熱が支持テーブル2を介してSiウエハWに対して伝熱され、これによりSiウエハWの処

理面が所望の温度に制御される。

【0027】また、チャンバー1が排気系12により排気されて真空中に保持されていても、冷媒室17に循環される冷媒によりSiウエハWを有効に冷却可能なように、冷却ガスが、ガス導入機構18によりそのガス供給ライン19を介して静電チャック6の表面とSiウエハWの裏面との間に導入される。このように冷却ガスを導入することにより、冷媒の冷熱がSiウエハWに有効に伝達され、SiウエハWの冷却効率を高くすることができる。

【0028】上記シャワーヘッド20は、チャンバー1の天壁部分に支持テーブル2に対向するように設けられている。このシャワーヘッド20は、その下面に多数のガス吐出孔22が設けられており、かつその上部にガス導入部20aを有している。そして、その内部には空間21が形成されている。ガス導入部20aにはガス供給配管23aが接続されており、このガス供給配管23aの他端には、エッチングガスおよび希釈ガスからなる処理ガスを供給する処理ガス供給系23が接続されている。

【0029】このような処理ガスが、処理ガス供給系23からガス供給配管23a、ガス導入部20aを介してシャワーヘッド20の空間21に至り、ガス吐出孔22から吐出される。

【0030】一方、チャンバー1の上部1aの周囲には、同心状に、ダイボールリング磁石24が配置されている。ダイボールリング磁石24は、図2の水平断面図に示すように、複数の異方性セグメント柱状磁石31がリング状の磁性体のケーシング32に取り付けられて構成されている。この例では、円柱状をなす16個の異方性セグメント柱状磁石31がリング状に配置されている。図2中、異方性セグメント柱状磁石31の中に示す矢印は磁化の方向を示すものであり、この図に示すように、複数の異方性セグメント柱状磁石31の磁化の方向を少しずつずらして全体として一方向に向かう様な水平磁界Bが形成されるようになっている。

【0031】したがって、支持テーブル2とシャワーヘッド20との間の空間には、図3に模式的に示すように、第1の高周波電源15により鉛直方向の電界ELが形成され、かつダイボールリング磁石24により水平磁界Bが形成され、このように形成された直交電磁界によりマグネトロン放電が生成される。これによって高エネルギー状態のエッチングガスのプラズマが形成され、SiウエハWがエッチングされる。

【0032】次に、このように構成されるマグネトロンプラズマエッチング装置を用いた本発明の方法の実施形態について説明する。まず、ゲートバルブ13を開にしてSiウエハWをチャンバー1内に搬入し、支持テーブル2に載置した後、支持テーブル2を図示の位置まで上昇させ、排気系12の真空ポンプにより排気ポート11

を介してチャンバー1内を排気する。

【0033】そして処理ガス供給系23からエッチングガスおよび希釈ガスを含む処理ガスが所定の流量でチャンバー1内に導入され、チャンバー1内のガス圧力を13～1333Pa (100mTorr～10Torr) にし、その状態で第1の高周波電源15から支持テーブル2に所定の高周波電力を供給する。この際に、SiウエハWは、直流電源16から静電チャック6の電極6aに所定の電圧が印加されることにより例えばクーロン力により静電チャック6に吸着保持されるとともに、上部電極であるシャワーヘッド20と下部電極である支持テーブル2との間に高周波電界が形成される。シャワーヘッド20と支持テーブル2との間にはダイポールリング磁石24により水平磁界Bが形成されているので、SiウエハWが存在する電極間の処理空間には直交電磁界が形成され、これによって生じた電子のドリフトによりマグネトロン放電が生成される。そしてこのマグネトロン放電により形成されたエッチングガスのプラズマによりSiウエハWがエッチングされる。

【0034】この場合に、チャンバー1内のガス圧力を13～1333Pa (100mTorr～10Torr) と高く設定するので、イオンおよび電子の荷電粒子のみならず、十分な量のラジカルを生成させることができ、このラジカルが有効に作用して20 $\mu$ m/min以上という従来にない高速のSiエッチングを実現することができる。ガス圧力の好ましい範囲は、26～133Pa (200mTorr～1Torr) である。

【0035】このことを確認した実験について説明する。ここでは、エッチングガスとしてSF<sub>6</sub> ガスおよびO<sub>2</sub> ガスを用い、支持テーブル2に印加する高周波電力の周波数を40MHz、ダイポールリング磁石によりSiウエハWの存在空間に17000 $\mu$ T (170G) の磁場を印加し、チャンバー内圧力および高周波電力を変化させて図1に示すエッチング装置によりエッチングを行った。その結果を図4に示す。図4は横軸にチャンバー内圧力をとり縦軸に高周波電力をとって、これらとエッチングレートとの関係を示すグラフである。この図に示すように、高周波電力にかかわらず、チャンバー内圧力が13Pa (100mTorr) より高くなるに従ってエッチングレートが高くなっていることがわかる。

【0036】また、ラジカルの消滅レートを減少させてSiウエハWの上のラジカル数を多くする観点からプラズマ生成領域とSiウエハWとの間の距離を20mm以下とすることが好ましい。本実施形態ではRIEタイプのプラズマ生成機構を用いているので、プラズマ生成領域と被処理体であるSiウエハWとの間の距離を容易に20mm以下と近くすることができ、しかもプラズマを被処理体の直上で形成することができる。したがって、ラジカルの消滅レートを減少させてSiウエハWの上のラジカル数を多くすることができるとともに、ラジカル

をSiウエハWのエッチングに有効に寄与させることができる。また、電極間に電界と直交する磁場を形成しながらエッチングを行うことにより、被処理体直上にE×Bドリフトが生じ、被処理体の直上で高プラズマ密度が実現される。これらにより、上記ガス圧力が高いことと相俟って一層高速でエッチングすることができる。

【0037】エッチングガスとしては、通常エッチング用のガスとして用いているガスを用いればよいが、SiウエハWを高速でエッチングする観点から反応性の高いフッ素含有ガスを含むものを用いることが好ましい。また、フッ素含有ガスとしては、1分子に存在するFの数が多いほど反応性が高く、その分子をA<sub>x</sub>F<sub>y</sub> (ただし、Aは任意の元素、xおよびyは価数) と表した場合に、yが4以上、さらにはyが6以上が反応性が高く好ましい。このようなフッ素含有ガスとしては、CF<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、SF<sub>6</sub>、S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>を挙げることができる。また、フッ素含有ガスとともに酸素ガスを用いることによりエッチングの異方性を高めることができ、エッチングの形状性を良好にすることができる。具体的には、SF<sub>6</sub>とO<sub>2</sub>とを含み、O<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>が0.1～0.5のものが、高速エッチング性および形状性の観点から好ましい。さらに好ましくは0.15～0.3である。また、SF<sub>6</sub>とC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>とを含みC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/SF<sub>6</sub>が0.3～0.6であるものも好適に用いることができる。さらに好ましくは、0.4～0.5である。

【0038】このことを確認した実験について説明する。ここでは、図1に示すエッチング装置を用い、エッチングガスとしてSF<sub>6</sub>+O<sub>2</sub>を用い、高周波電力の周波数40MHzとしマスクとしてSiO<sub>2</sub>を用いた場合(条件A)、および27MHzとしマスクとしてレジストを用いた場合(条件B)でO<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>の値を変化させてエッチングを行った。また、エッチングガスとしてSF<sub>6</sub>+C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>を用い、高周波電力の周波数40MHzとして上記条件AでC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/SF<sub>6</sub>の値を変化させてSiウエハのエッチングを行った。

【0039】図5に示す垂直エッチングレートaとサイドエッチングレートbを測定し、高速エッチング性を垂直エッチングレートaで評価し、形状性をサイドエッチングレートbの垂直エッチングレートaに対する比(エッチングレート比)b/aで評価した。その結果を図6および図7に示す。図6はO<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>の値と垂直エッチングレートaおよびエッチングレート比b/aとの関係を示すグラフである。また、図7はC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/SF<sub>6</sub>の値と垂直エッチングレートaおよびエッチングレート比b/aとの関係を示すグラフである。図6からO<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>が0.1～0.5の範囲で高速エッチング性および形状性が良好であることが確認される。特に0.15～0.3で垂直エッチングレートaとエッチングレート比b/aとのバランスが良く、この範囲がより好ましい。また、図7からC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/SF<sub>6</sub>が0.3～0.6



の範囲で高速エッチング性および形状性が良好であることが確認される。特に0.4~0.5の範囲で垂直エッチングレートaとエッチングレート比b/aとのバランスが良く、この範囲がより好ましい。

【0040】エッチングの形状性を良好にするためには、SiウエハWの温度を低下させることも有効である。そのために、冷媒室17が設けられており、この冷媒室17に冷媒が循環され、その冷熱が支持テーブル2を介してSiウエハWに対して伝熱され、これによりSiウエハWの処理面が所望の温度に制御される。エッチングの形状性つまり異方性を良好にするためには、例えば-30℃程度の冷媒を循環させる。

【0041】また、ガス導入機構18によりガス供給ライン19を介してSiウエハWに冷熱を有効に供給するための伝熱ガスが静電チャック6の表面とSiウエハWの裏面との間に導入されるが、このガスとしては通常のHeの代わりにSF<sub>6</sub>やC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>等のエッチングガスとして用いられるガスを導入することが好ましい。これらは冷却効率がHeよりも大きく、SiウエハWを冷却する効果を一層高めることができ、エッチングの形状性をより良好にすることが可能となる。

【0042】プラズマ生成用の第1の高周波電源15は、所望のプラズマを形成するためにその周波数および出力が適宜設定される。SiウエハWの直上のプラズマ密度を高くする観点からは、周波数が27MHz以上であることが好ましい。

【0043】このことを確認した実験について説明する。図1に示すエッチング装置を用い、エッチングガスとしてC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>+SF<sub>6</sub>を用い、高周波電力の周波数を変化させてSiウエハWのエッチングを行い、エッチングレートおよびレジストに対するエッチング選択比を求めた。図8は高周波電力の周波数とエッチングレートおよびエッチング選択比との関係を示すグラフである。この図に示すように、エッチングレートおよびエッチング選択比ともに、周波数の上昇に従って増加しており、特に27MHz以上で急激に上昇していることがわかる。

【0044】また、さらにエッチングレートおよびエッチング選択比を上昇させる観点からは40~200MHzの範囲が好ましい。図8は40MHzまでの結果しか示されていないが、40MHz以上においても周波数の上昇にともなってエッチングレートおよびエッチング選択比が上昇することは容易に理解される。

【0045】第2の高周波電源26は、プラズマのイオンエネルギーをコントロールするための高周波電力を供給するものであり、その周波数は第1の高周波電源15の周波数よりも小さく2MHz以上であることが好ましい。

【0046】ダイポールリング磁石24は、SiウエハWの直上のプラズマ密度を高くするために、対向電極である支持テーブル2およびシャワーヘッド20の間の処

理空間に磁場を印加するが、その効果を有効に発揮させるためには処理空間に10000μT(100G)以上の磁場を形成するような強度の磁石であることが好ましい。磁場は強ければ強いほどプラズマ密度を高くする効果が増加すると考えられるが、安全性の観点から10000μT(1kG)以下であることが好ましい。

【0047】また、SiウエハWを高速にエッチングするためには、エッチングの開口率、すなわちSiウエハWの全面積に対するエッチング孔の面積の割合も考慮する必要がある。つまり、開口率が大きすぎると高速のエッチングは困難となる。このような観点から開口率は10%以下であることが好ましく、5%以下がさらに好ましい。また、エッチングの開口幅は特に限定されるものではなく例えば5μm程度以上が適用可能であるが、10μm以上が好ましい。開口幅の上限も特に存在しないが200μm程度以下が好ましい。

【0048】以上のように、エッチングの際のチャンバー1内のガス圧力を高圧にすることにより、また、さらに他の条件を好ましい範囲に規定することにより、Siのエッチングを高速で行うことができるが、実用的な観点からは、例えば、チャンバー1内のガス圧力を26.6~66.5Pa(200~500mTorr)、第1の高周波電源15の周波数を40MHz、第2の高周波電源26の周波数を3.2MHz、ダイポールリング磁石24によって形成される処理空間での磁場の強さを10000~30000μT(100~300G)とする。このような条件を採用することにより、SiウエハWのエッチングを50μm/min程度またはそれ以上という著しく大きい速度で行うことができる。

【0049】このような実用的な条件でSiウエハWを実際にエッチングした結果について説明する。Siウエハの表面にSiO<sub>2</sub>マスクを形成し、図1のマグネトロンRIEプラズマエッチング装置を用いてエッチングを行った。エッチングの際のチャンバー1内の圧力を33.25Pa(250mTorr)とし、エッチングガスとしてSF<sub>6</sub>およびO<sub>2</sub>をそれぞれ0.4L/minおよび0.13L/minの流量でチャンバー1内に供給し、第1の高周波電源15の周波数を40MHz、第2の高周波電源26の周波数を3.2MHz、ダイポールリング磁石24によって形成される処理空間での磁場の強さを17000μT(170G)とし、第1の高周波電源15からの高周波電力の出力を2300Wとした。また、SiウエハWを効率よく冷却するためにウエハ裏面に供給するガスとしてSF<sub>6</sub>ガスを用い、SiウエハWの底面の温度が-15℃になるようにした。なお、エッチングにより形成する孔の開口径は20μmとした。

【0050】その結果、図9の電子顕微鏡写真に示すようなエッチング孔が得られた。エッチングレートは49.3μm/minと極めて高速であった。また、図9

に示すようにエッチング孔の形状は良好なものであった。マスクの $\text{SiO}_2$ に対する $\text{Si}$ のエッチング選択比は50.7であった。

【0051】また、チャンバー内圧力、エッチングガス流量、高周波電力等を最適化することにより、 $60\mu\text{m}/\text{min}$ 以上のエッチングレートが得られることも確認されている。

【0052】以上のように、本実施形態の方法を採用することにより、 $\text{Si}$ を極めて高速でエッチングすることができ、かつエッチングの形状性も良好となることが確認された。

【0053】以上説明した高速エッチング方法により $\text{Si}$ ウエハに貫通する穴や溝を形成することができるが、このようにして $\text{Si}$ ウエハをエッチングした後、該 $\text{Si}$ ウエハの反対側の表面の全面研削または全面エッチングを行って、上記高速エッチング方法により $\text{Si}$ ウエハに形成した穴または溝が $\text{Si}$ ウエハを貫通するようにすることもできる。

【0054】なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく、種々変形可能である。例えば、上記実施形態ではマグネトロン $\text{RIE}$ プラズマエッチング装置の磁場形成手段としてダイポールリング磁石を用いたが、これに限るものではなく、磁場の形成も必須なものではない。また、本発明の範囲のガス圧力でプラズマを形成することができれば装置は問わず、容量結合型や誘導結合型等の種々のプラズマエッチング装置を用いることができる。ただし、高圧でプラズマを形成する観点からは誘導結合型よりも容量結合型のものが好ましい。また、プラズマ生成領域と被処理体とを近づける観点からはその中でも $\text{RIE}$ タイプのものが好ましい。また、上記実施形態では $\text{Si}$ ウエハのエッチングについて示したが、 $\text{Si}$ 部分を含む被処理体における $\text{Si}$ のエッチングであれば、 $\text{Si}$ ウエハのエッチングに限るものではない。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、プラズマを生成する際の処理容器内のガス圧力を $13\sim 1333\text{Pa}$  ( $100\text{mTorr}\sim 10\text{Torr}$ )と高く設定することにより、十分な量のラジカルを生成させることができ、 $20\mu\text{m}/\text{min}$ 以上、他の条件を最適化することにより $50\mu\text{m}/\text{min}$ 以上の従来にない高

速の $\text{Si}$ エッチングを実現することができる。

【0056】このため、本発明は三次元デバイスの貫通孔形成に好適に用いることができる他、この高速エッチング特性を兼ね備えた微細加工特性を利用して従来は機械加工で行っていた基板からのチップの切り出し加工（ダイシング）を半分以上の削り代で実現できるなど、マイクロマシニングや電子線ビームリソグラフィーにおけるマスク加工等への適用が期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る方法を実施するためのマグネトロン $\text{RIE}$ プラズマエッチング装置を示す断面図。

【図2】図1の装置のチャンバーの周囲に配置された状態のダイポールリング磁石を模式的に示す水平断面図。

【図3】チャンバー内に形成される電界および磁界を説明するための模式図。

【図4】チャンバー内圧力および高周波電力とエッチングレートとの関係を示すグラフ。

【図5】エッチングにおける垂直エッチングレート $a$ とサイドエッチングレート $b$ とを説明するための図。

【図6】 $\text{O}_2/\text{SF}_6$ の値と垂直エッチングレート $a$ およびエッチングレート比 $b/a$ との関係を示すグラフ。

【図7】 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{SF}_6$ の値と垂直エッチングレート $a$ およびエッチングレート比 $b/a$ との関係を示すグラフ。

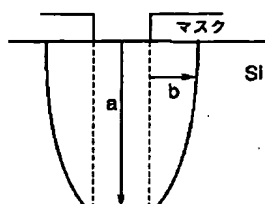
【図8】高周波電力の周波数とエッチングレートおよびエッチング選択比との関係を示すグラフ。

【図9】図1の装置により実際にエッチングを行った際のエッチング孔の一例を示す電子顕微鏡写真。

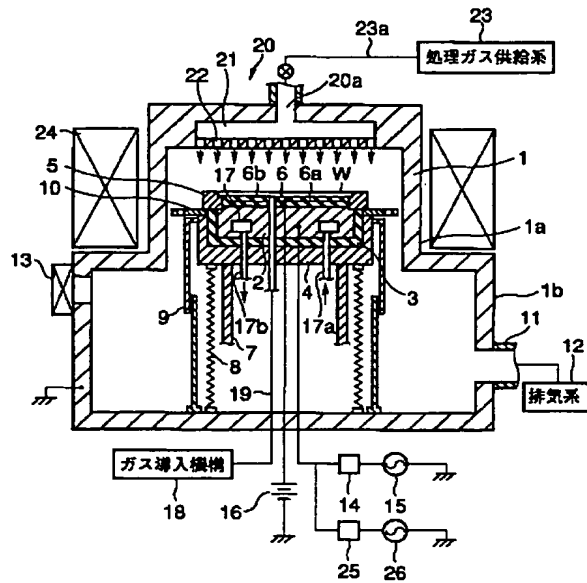
【符号の説明】

- 1；チャンバー（処理容器）
- 2；支持テーブル（電極）
- 12；排気系
- 15；第1の高周波電源
- 17；冷媒室
- 18；ガス導入機構
- 20；シャワーヘッド（電極）
- 23；処理ガス供給系
- 24；ダイポールリング磁石
- 26；第2の高周波電源
- W； $\text{Si}$ ウエハ

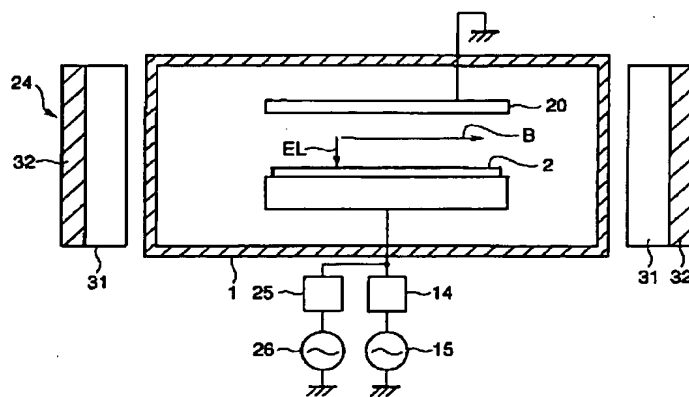
【図5】



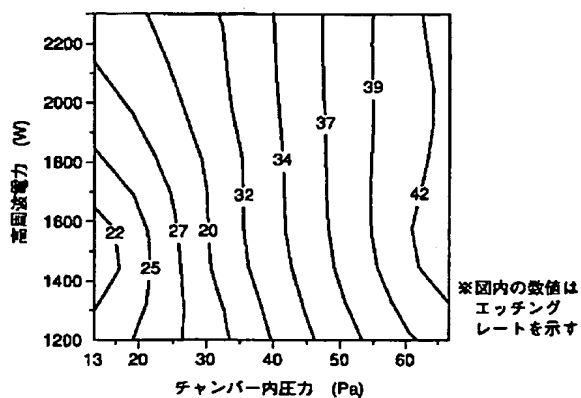
【図1】



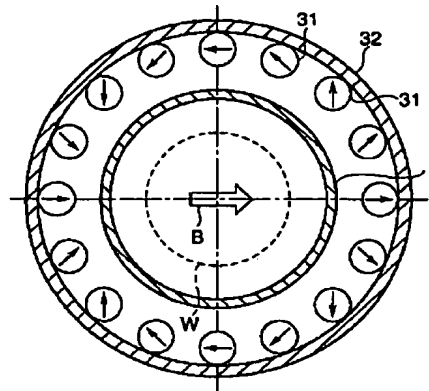
【図3】



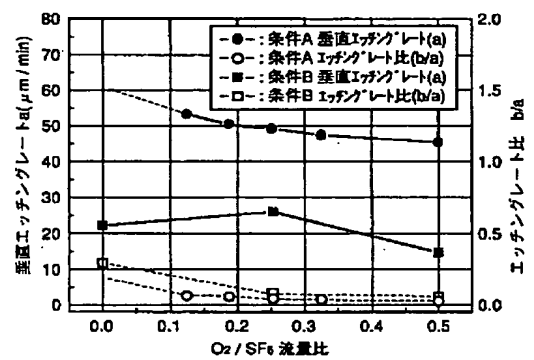
【図4】



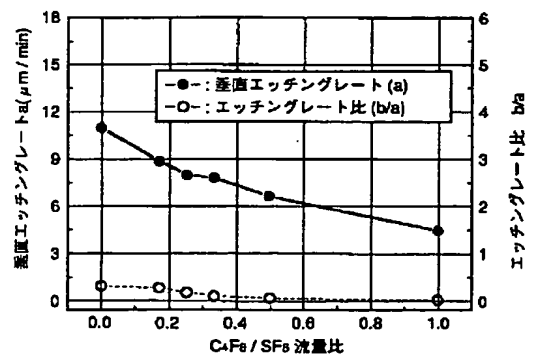
【図2】



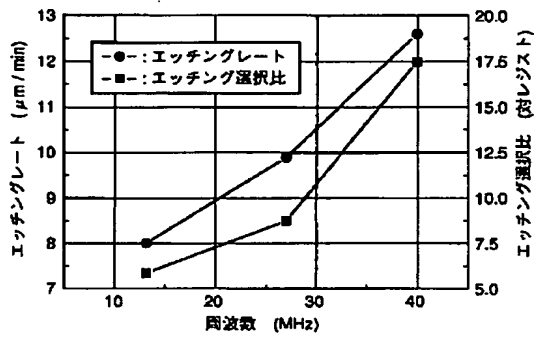
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

孔のサイズ:  $20\mu\text{m}$



フロントページの続き

(72)発明者 永関 一也  
山梨県韭崎市藤井町北下条2381番地の1  
東京エレクトロン山梨株式会社内  
(72)発明者 酒井 伊都子  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8 株式会  
社東芝横浜事業所内

(72)発明者 大岩 徳久  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8 株式会  
社東芝横浜事業所内  
Fターム(参考) 5F004 AA05 AA16 BA07 BA08 BB07  
BB11 BB22 BB23 BB25 BB28  
CA02 CA09 DA00 DA03 DA18  
DA26 DA30 DB01

BEST AVAILABLE COPY